

Neuartige Schnellklebebänder für den Fertighausbau

G. Wisner, E. Stammen, K. Dilger

Institut für Füge- und Schweißtechnik der Technischen Universität Braunschweig

g.wisner@tu-braunschweig.de

M. Brodel, A. Zillessen

Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut, Braunschweig

maria.brodel@wki.fraunhofer.de

Abstract

Im Fertighausbau von Ein- oder Zweifamilienhäusern mit bis zu zweistöckiger Bauweise werden große, gerade noch transportfähige Paneele im Werk industriell vorgefertigt, auf LKW verladen und auf der Baustelle in kürzester Zeit zu einem Fertighaus zusammengesetzt. Die Struktur der Paneele besteht hauptsächlich aus Holz und Holzwerkstoffen als Kantholzrahmen mit beidseitiger Spanplattenbeplankung, in den Paneelen sind Wärmeisolation und vorinstallierte Rohre und Kabel montiert. Als Witterungsschutz ist außen Spritzputz aufgebracht oder die äußeren Wände bestehen zusätzlich aus zementgebundenen Spanplatten. Als Fügetechnik wird fast ausschließlich Nageln oder Klammern eingesetzt. In einem in 2014 abgeschlossenen anwendungsorientierten Forschungsprojekt wurden dünne metallische Folien und Streckmetalle aus Stahl und Messing als Klebebandträger mit reaktiven Schmelzklebstoffen beschichtet, um ein elektrisch zu beheizendes Schnellklebesystem für die Fertigung der großformatigen Paneele zu untersuchen. Die elektrische Widerstandsbeheizung kann dabei mit industrie-üblichen Stromquellen für Schweißtechnik oder Prozeßwärme erfolgen und aktiviert den Klebstoff optimal in den Fugen. In der Holztafel kommen die einfachen geometrischen Randbedingungen dem neuartigen Klebebandsystem optimal entgegen, da hauptsächlich nur zwei verschiedene Fugenbreiten bei variablen Längen benötigt werden. Das Klebeband-Halbzeug kann durch die Schnellheizfähigkeit bei den Fertigungszeiten sehr gut mit der etablierten Nagel- und Klammertechnik mithalten und bringt weitere Vereinfachungen bei der Klebstoffverarbeitung sowie der unkomplizierten Dosierung auch von großen Lauflängen von bis ca. 10 m mit sich.

1 Einleitung

Die Holztafelbauweise ermöglicht eine komplette Vorfertigung ganzer Wand- und Deckenelemente für den Fertighausbau und stellt einen guten Kompromiß aus transportfähiger Leichtbauweise und Stabilität für ein Bauwerk dar, den Eigenheimbesitzer von einem Haus erwarten. Holztafelelemente sind Rahmenkonstruktionen aus Kanthölzern (Fichte oder Kiefer) mit angefügter Beplankung aus verschiedenen Plattenwerkstoffen. Die Plattenwerkstoffe (typisch: Spanplatten, zementgebundene Spanplatten oder Oriented Strand Boards - OSB-Platten) werden heute noch hauptsächlich geklammert oder genagelt, Klebtechnik wird hingegen kaum eingesetzt. Kleben im tragenden Holzbau ist in Europa in EN-Normen reglementiert und es sind nur zugelassene Klebstoffe einzusetzen, die aus bestimmten Klebstoff-Polymeren bestehen, welche sich in der Baubranche bewährt haben.

2 Ein Klebeband kann Nageln oder Klammern ersetzen

Ziel eines Projektes [1] zur Untersuchung einer einfach gehaltenen Schnellklebetechnik für die Fertigung in der Holztafelbranche war es, ein neuartiges Klebeband statt der sonst üblichen flüssig zu applizierenden Holzleime für das Kleben zu realisieren. Klebtechnik im tragenden Holzbau führt generell zu steiferen Konstruktionen als durch Nägel oder Klammern gefügte Bauten. Materialeinsparungen, mehrgeschossige Bauten oder erhöhte Erdbebensicherheit könnten Zielrichtungen von zukünftigen Optimierungen darstellen, wenn bauaufsichtlich zugelassene Klebtechnik in einfacher und wirtschaftlicher Weise in allen Bereichen der Paneele eingesetzt werden könnte. Die untersuchte Schnellklebetechnik beruht auf der Idee, einen elektrisch zu beheizen den dünnen metallischen Träger mit einer reaktiven Schmelzklebstoffschicht zu versehen, der zwischen die Holzbauteile (kalt) geklemmt wird, dann auf Temperaturen bis zu etwa 180 °C geheizt wird und damit die Klebschicht optimal verflüssigt und chemisch aktiviert durch eine Vernetzungsreaktion. Das schlecht Wärme leitenden Holz stellt somit kein Hindernis dar und Verluste wie bei Energiezufuhr von außen durch Heizpressen werden vermieden.

Die Anordnung der Klebebänder erfolgt in den typischen langgestreckten Fugen der Holztafel und ist in *Abb. 1* schematisch dargestellt. Es werden typischerweise nur zwei Klebebandbreiten benötigt, ein breites Band für die Verbindung von Kanthölzern zu Platten und ein schmales Band für die Schmalkanten der Platten untereinander. Die Schmalkanten können mit dem Klebeband auch im sogenannten fliegenden Stumpfstoß geklebt werden, da keine Unterlattung wie beim Nageln benötigt wird.

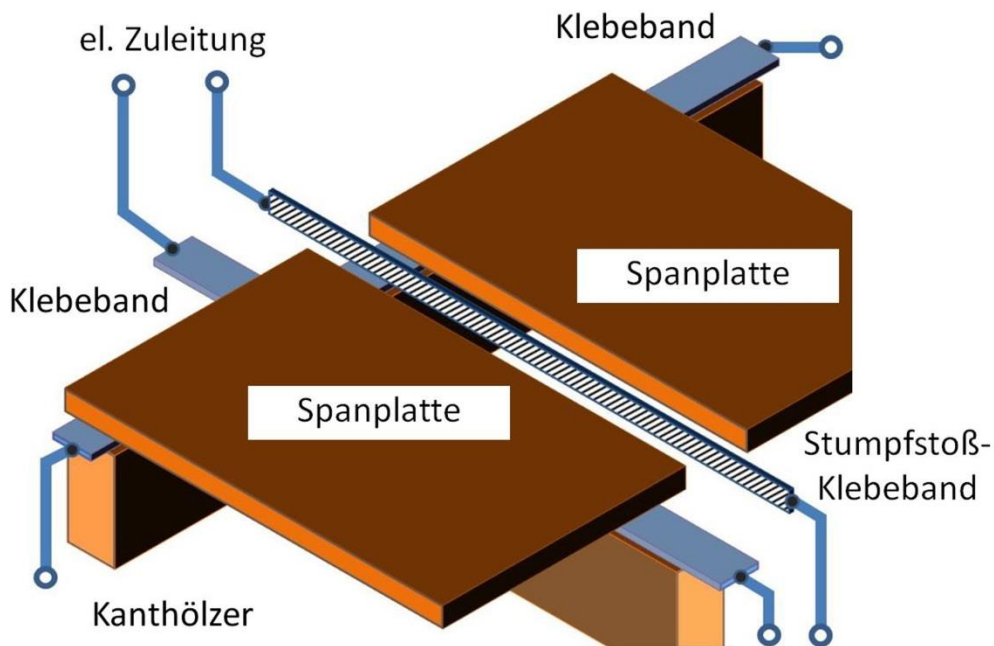


Abb. 1: Klebebänder zur resistiven Bänderwärmung in den Fugen der Holztafel. Zu unterscheiden sind die Verbindung des Rahmens zu den Platten und die Stumpfstöße der einzelnen Platten zueinander (schraffiertes Band)

Das Klebeband-Halbzeug, welches beidseitig mit dem strukturellen reaktiven Schmelzklebstoff vorbeschichtet wird, sollte aus einem elektrisch leitfähigen Trägermaterial bestehen zur resistiv konduktiven Schnellerwärmung, siehe *Abb. 2 a*. Ein hoher elektrischer Stromfluß setzt am resultierenden Ohmschen Widerstand des metallischen Trägers die elektrische Energie in Wärme um. Der elektrische Widerstand ist vom spezifischen Widerstand der Legierung, dem effektiven Querschnitt des dünnen Trägers, dessen Länge und auch von der aktuellen Temperatur des Widerstands selbst abhängig [2]. Mit Rücksicht auf den Zweck der Holzklebung muß der Aufheizvorgang rechtzeitig vor Erreichen der Zieltemperatur von max. 200 °C abgeregelt werden, da sonst das Holz und der Klebstoffe thermisch geschädigt werden würden oder sogar eine Brandgefahr entsteht. Als Temperaturfühler dienen in die Klebefuge eingebrachte Thermoelemente vom Typ K (Ni/CrNi). Untersuchungen zur homogenen Temperaturverteilung zeigten, daß nur ein Thermofühler in jeder Klebung ausreicht.

Das metallische Trägerband als Folie oder gelochtes Streckgitter wird beidseitig mit einer Schmelzklebstoffauflage vorbeschichtet. Die Enden der für die Proben maßgeschneiderten Klebebänder blieben für die Untersuchungen im Projekt unbeschichtet (siehe *Abb. 2 b*), um die zuverlässige elektrische Kontaktierung über Klemmen zu ermöglichen.

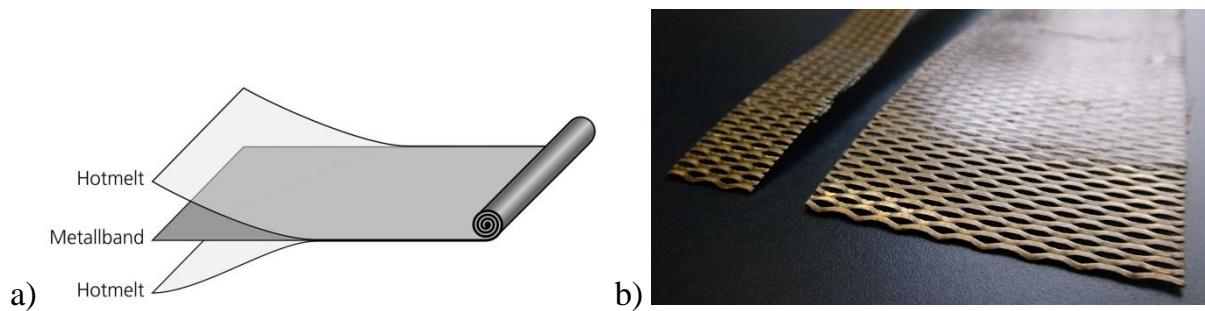


Abb. 2: Neuartiges Klebeband aus elektrisch leitfähigem Träger und beidseitiger Klebstoffbeschichtung: (a) Prinzip, b) ausgeführte Klebebänder auf Stahl-Streckmetallträgern

3 Anforderungen und Materialauswahl

Kleben im tragenden Holzbau ist in entsprechenden Bau-Normen reglementiert, es dürfen nur zugelassenen Klebstoffe verwendet werden, die nach bestimmten Kriterien wie Mindestfestigkeiten und Quell- und Kriechverhalten unter definierten Randbedingungen geprüft werden. Weiterhin dürfen entsprechende Klebungen nur von ausgebildetem Personal ausgeführt werden. Nach Absprache im Projekt begleitenden Ausschuß wurden die Anforderung im tragenden Holzbau nach DIN EN 15425 (für 1K-PUR) [3] zugrunde gelegt und es wurde sich dabei auf die Behandlungen nach DIN EN 301 - A1 (Lagerung der geklebten Proben: fünf Tage bei 20 °C / 65 % rel. F., Prüfung „trocken“) und DIN EN 301 - A4 (Lagerung: 6 h Kochwasserlagerung, 2 h Kaltwasserlagerung, Prüfung „feucht“) konzentriert [4] und hauptsächlich in Probenformen gemäß DIN EN 302-1 [5] geprüft.

Bei der Klebstoffauswahl für die neuartigen Klebebänder lag der Schwerpunkt prinzipiell geeigneter Materialien auf Schmelzklebstoffen, die zusätzlich mit Reaktivstoffen versehen sind [6]. Es kamen verschiedene Polyurethane (PUR) als PUR-Hotmelts, PUR-Klebdispersionen und auch Co-Polyamide (Co-PA) in die engere Wahl, nicht jedoch die etablierten Holzleime für den tragenden Holzbau, da diese zum veränderten Verarbeitungsprozeß aus vorgelagerter Klebebandbeschichtung und beliebig langer Lagerungszeit nicht kompatibel sind [7]. Die Herstellung der Halbzeuge erfolgte in einer Schmelzapplikation bei reduzierten Temperaturen ohne Aktivierung möglicher reaktiver Komponenten, da diese erst beim Klebvorgang auf Holz, nicht aber beim Beschichtungsvorgang aktiviert werden dürfen. Das fertig beschichtete Klebeband sollte weiterhin unter Standardbedingungen ausreichend lange lagerstabil sein, üblich bei reaktiven Klebstoffen sind Lagerungszeiten zwischen sechs und zwölf Monaten.

Die Klebstoffe wurden auf Metallbänder oder gelochte Strukturen wie Streckmetalle als Trägermaterial appliziert. Dünn ausgewalzte Bleche oder Streckmetalle (Blechdicke als Band ca. 0,1 mm, Streckmetall-Ausgangsblech ca. 0,3 mm dann geschlitzt und ausgestreckt) aus austenitischem Edelstahl X5CrNi18-10, kohlenstoffarmen unlegierten Stählen, Rein-Aluminium und Kupferlegierungen (Messing CuZn15 und CuZn37) wurden eingesetzt und deren Erwärmungsverhalten mit verschiedenen Stromquellen und Spannungen und Frequenzen untersucht. Typische Heizleiterwerkstoffe wie Konstantan (CuNi44) etc. wurden nicht betrachtet, da die geometrischen Verhältnisse eher einen geringen spezifischen Widerstand erfordern, der hohe Ströme bei niedrigen Spannungen ermöglicht (Anforderung aus Arbeitsschutz). Der sehr geringe Querschnitt bei zum Teil großer Lauflänge bestimmt zusammen mit der Stromtragfähigkeit typischer Stromquellen das sinnvolle schnelle Aufheizverhalten der Klebebänder.

In Erwärmungsversuchen wurden hauptsächlich Gleichstrom und mittelfrequenter Wechselstrom in der Größenordnung von 10 kHz für die konduktive Erwärmung genutzt. Als Holz und Holzwerkstoffe wurden neben typischen Nadelhölzern und verschiedenen Spanplatten auch Buchenholz als Prüfholz für ausgewählte Proben eingesetzt.

4 Ausgewählte Prüfergebnisse

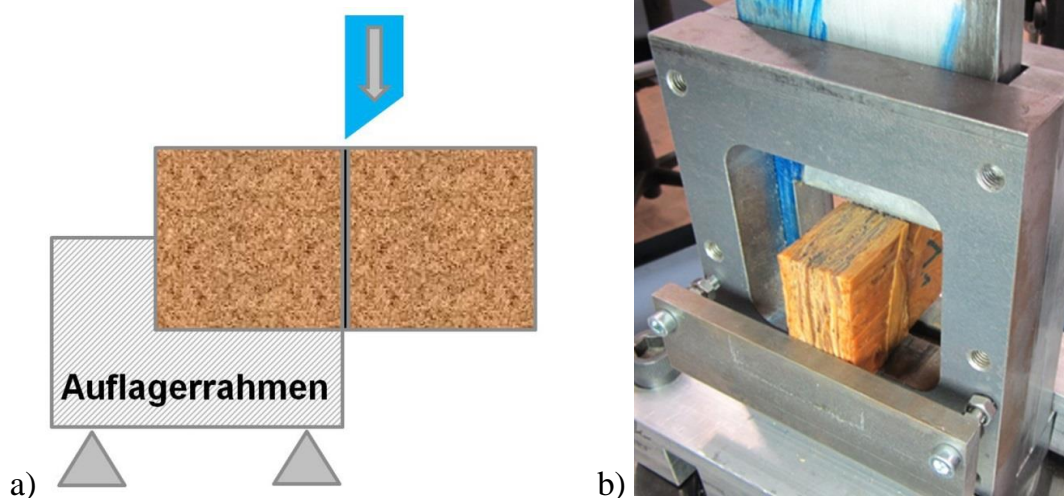
Ein insgesamt günstiges Aufheizverhalten wurde bei Edelstahl, gut tiefziehfähigem kohlenstoffarmen Stahl (DC 01 n. EN 10139) und Messingwerkstoffen mit relativ hohem Zink-Anteil (z. Bsp. CuZn37) beobachtet [8]. Ein typisches Klebeband für die Plattenschmalkanten-Klebungen kann in weniger als einer Minute aktiver Heizzeit geklebt werden. Darin sind die Aufheizzeit und die Haltezeit bei ca. 150 – 180 °C enthalten, nachfolgend ist eine Abkühlzeit auf Fugentemperaturen unter 80 °C zu berücksichtigen.

Die meisten untersuchten Klebstoffe erfüllten nicht alle Anforderungen aus Prozeß und Tragfähigkeit, speziell die Kochwasserlagerungen nach EN 301 - A4 wurden von geklebten Proben häufig nicht bestanden. Ein Co-Polyamid Schmelzklebstoff zeigte in allen Untersuchungen bei einer Klebstoffauflage von mindestens 160 g/m² (je Seite bei ungelochten Metallbändern oder 400 g/m² bei gelochten Streckmetallen) und einem relativ breiten Aktivierungstemperaturbereich zwischen 150 °C und 180 °C im Ein-Minuten-Bereich Klebfestigkeiten, die den Anforderungen entsprechen.

Die Haftung des Klebstoffs auf der Metallseite konnte von anfänglich sehr schlechten Werten mittels Haftvermittlern zwar gesteigert werden, eine zufriedenstellende Tragwirkung wurde jedoch nur bei gelochten Streckmetallen als regelmäßig gelochte Trä-

ger erzielt. Durch die gelochte rasterförmige Struktur (siehe Bild 2 rechts) werden damit lokal durchgängige Klebstoffverbindungen zwischen den Holzfügeteilen ermöglicht.

Als Probekörperformen kamen neben dicken Zugscherproben (n. EN 301-2) auch Blockscher-Prüfkörper - siehe *Abb. 3 a) und b)* - mit den Abmessungen 100 mm x 50 mm x Plattendicke (15–22 mm) und reine Zugproben (Breite 50 mm) aus Spanplatten mit dem geklebten Stumpfstoß zum Einsatz. Beide Proben bilden die wesentlichen Beanspruchungen in Decken-Paneelen (Zugprobe) oder Wandpaneelen (Blockscherprobe) recht gut ab.



*Abb. 3: Blockscherprüfungen von Spanplattenproben mit mittigen Schmalkantenklebungen:
a) Prüfprinzip schematisch, b) geklebte OSB-Probe im Prüfrahmen*

In *Tab. 1* sind zum Vergleich die Blockscherfestigkeiten von geklebten Schmalkantenproben aus OSB mit ungeschnittenen OSB-Proben dargestellt.

Tab. 1: Schmalkantenklebungen von OSB-Platten mit Schnellklebeband; Vergleich der Blockscherfestigkeiten mit ungeschnittenen OSB-Platten nach Behandlungen gem. EN 301 (A1, A4)

<i>OSB-Platte</i>	<i>Metallträger</i>	<i>Klebstoffauflage</i>	<i>Haltezeit zw. 150–180 °C</i>	<i>A1 [N/mm²]</i>	<i>A4 [N/mm²]</i>
<i>OSB-Al-Str.</i>	<i>Alu-Streckmetall 0,45 mm</i>	<i>450 g pro m²</i>	<i>300 s</i>	<i>9,50</i>	<i>2,85</i>
<i>OSB-St-Str.</i>	<i>Stahl-Streckmetall 0,45 mm</i>	<i>400 g pro m²</i>	<i>300 s</i>	<i>8,10</i>	<i>3,46</i>
<i>OSB ungesch.</i>	<i>ungeschnitten</i>	<i>kein Klebstoff</i>	<i>-</i>	<i>7,35</i>	<i>2,46</i>

Bei ausreichender Klebstoffauflage im Klebeband erzielen die geklebten Proben auch nach Kochwasserlagerung noch Festigkeiten wie die ungeschnittenen Platten.

Zum Ende des Projektes wurden kleinere Modelltafeln (quadratische Schubproben 800 mm x 800 mm Kantenlänge (*Abb. 4 a*) und Doppel-T Proben mit 1800 mm x 400 mm für 4-Punkt Biegeversuche jeweils auf Kanthölzern 240 mm x 60 mm gefügt) mit der neuen Methode sowie der herkömmlichen Nageltechnik gefertigt, um die Tragwirkungen zu vergleichen und die geometrischen Besonderheiten (Ecken und T-Stöße) in der Holztafel abzubilden. *Tabelle 2* stellt zwei von den untersuchten fünf Varianten gegenüber.

Tab. 2: Kleintafelprüfung als Schubversuch, Art der Fügung (Klammern oder Schnellkleben) in den unterschiedlichen Stößen; erzielte Maximalkräfte und zugehörige Deformationen

<i>Prüfkörper-Typ je 3 Probekörper</i>	<i>Verbund Kantholz zu Beplankung</i>	<i>Schmalflächenstoß mittig</i>	<i>F_{max} [kN]</i>	<i>Traversenweg bei F_{max} [mm]</i>
<i>I</i>	<i>geklammert</i>	<i>kein</i>	<i>$32,1 \pm 3,7$</i>	<i>$14,2 \pm 1,6$</i>
<i>II</i>	<i>geklebt</i>	<i>geklebt</i>	<i>$81,2 \pm 21,1$</i>	<i>$6,0 \pm 0,9$</i>

Die Ergebnisse der Schubproben zeigen besonders das deutlich gesteigerte Traglastniveau der geklebten Träger gegenüber der typischen Fertigung mit Druckluft unterstützter Nagel- oder Klammertechnik. Klammern mit einem Drahtdurchmesser von 1,87 mm und einer Länge von 50 mm mit geharzten Schenkeln wurden dazu im Abstand von 70 mm eingeschlagen. Die Bruchbilder von den geklebten Varianten zeigen fast ausschließliches Versagen im Holz oder in den Spanplatten, siehe *Abb. 4 b*).

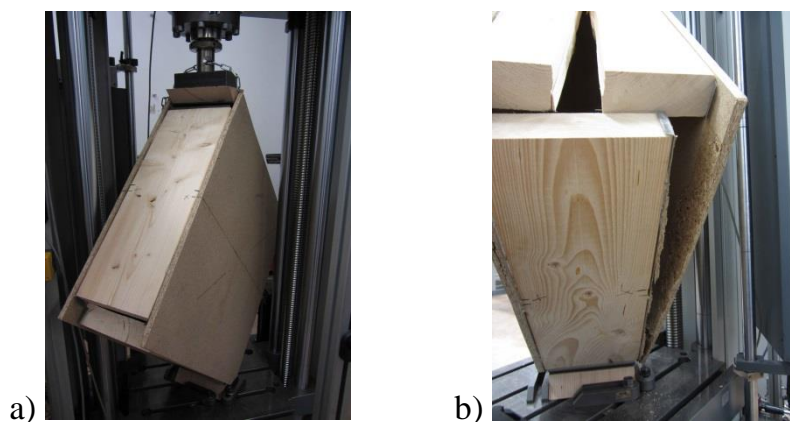


Abb. 4: Quadratische Schubprüfkörper als Kleinformattafeln (800 mm x 800 mm x 270 mm) mit unterschiedlichen Fügetechniken: a) eingespannte Probe, b) vollständig mit Klebebändern gefügte Probe, Versagen weitestgehend nur im Holz

5 Zusammenfassung und Ausblick

Mit der neuen Methode eines elektrisch beheizbaren Klebebandes wurden interessante Möglichkeiten in der Fertighaus-Industrie geschaffen, die in den geometrisch einfachen Holztafeln die Verarbeitung beim Kleben stark vereinfacht gegenüber herkömmlicher Klebtechnik. In der beheizten Fuge wird ein Co-Polyamid-Schmelzklebstoff optimal aktiviert und führt zu einem sehr guten Eindringverhalten in das Holz. Selbst Kochwasserlagerungen nach Norm können den Verbund nicht zerstören. Die Anbindung des Klebstoffs an den metallischen Träger konnte nicht auf das gleich hohe Niveau gesteigert werden, jedoch kann bei Verwendung eines gleichmäßig gelochten metallischen Trägers als Streckmetall und ausreichender Klebstoffbeschichtung eine durchgängige Klebschicht mit sehr hoher Adhäsion zum Holz und ausreichender Kohäsion der Klebschicht erzielt werden, die gängige Normen im tragenden Holzbau erfüllen. Das neuartige Klebeband mit Co-Polyamid Hotmelt-Beschichtung ist bei Raumtemperatur nicht klebrig an den Oberflächen, nicht feuchteempfindlich und im Rahmen einer üblichen Klebstofflagerungszeit von mindestens einem Jahr lager- und aktivierbar.

Ein Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf den schmalen Plattenkanten-Klebungen zwischen den Spanplatten der Paneele. Diese Stumpfstoßverbindung ist mit der neuen Klebebandtechnik an praktisch jeder Stelle der Paneele als fliegender Stoß ohne Unterlattung möglich und erzielt dabei erstmals Festigkeiten der ungeschnittenen Spanplatten. Dies eröffnet den Holztafelbauern neue konstruktive Möglichkeiten und kann Materialkosten durch bessere Ausnutzung von handelsüblichen Spanplatten einsparen.

Danksagung

Das IFS und das WKI danken den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für Ihr großes Interesse und die zahlreichen Hinweise. Das Vorhaben IGF Nr.17311 N wurde durch die Forschungsvereinigung Internationaler Verein für Technische Holzfragen e. V. (iVTH) über die AiF Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V. begleitet und durch Mittel des Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Verfasser bedanken sich ausdrücklich für diese Unterstützung.

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Literatur

- [1] Dilger, K.; Fischer, F.; Wisner, G.; Kasal, B.; Zillessen, A.; Brodel, M.: Projektbericht IGF Nr. 17.311 N – Schnellhärtende Klebstoffsysteme für den Einsatz im Holztafelbau - Kurztitel: Holzhaus. iVTH e. V., Braunschweig, 2014
- [2] Rudolph, M.; Schaefer, H.: Elektrothermische Verfahren - Grundlagen, Technologien, Anwendungen. Springer, Berlin, 1989. – ISBN 3-540-51064-8
- [3] Norm DIN EN 15425:2008 Klebstoffe – Einkomponenten-Klebstoffe auf Polyurethanbasis für tragende Holzbauteile – Klassifizierung und Leistungsanforderungen. Ausg. 6.2008. Berlin: Beuth Verlag.
- [4] Norm DIN EN 301:2013 Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Phenoplaste und Aminoplaste – Klassifizierung und Leistungsanforderung. Ausg. 12.2013. Berlin: Beuth Verlag.
- [5] Norm DIN EN 302-1:2013 Klebstoffe für tragende Holzbauteile – Prüfverfahren-Teil 1: Bestimmung der Längszugscherfestigkeit. Ausg. 6.2013. Berlin: Beuth Verlag.
- [6] Habenicht, G. Kleben – Grundlagen, Technologien, Anwendungen. 6. Auflage, Springer, Berlin, 2009. – ISBN 978-3-540-85264-3
- [7] Dunky, M.; Niemz, P. Holzwerkstoffe und Leime. Springer, Berlin, 2002. - ISBN: 978-3-540-42980-7
- [8] Wisner, G.; Zillessen, A.; Brodel, M.; Stammen, E.; Fischer, F.; Dilger, K.: Messingwerkstoffe als Träger neuartiger Klebebänder zum konduktiv resistiven Schnellkleben im Holztafelbau. Metall, 68. Jg., 11/2014, GDMB Verlag GmbH, Clausthal-Zellerfeld, 2014, S. 470–473.

Autorenanschriften

Dipl.-Ing. Gregor Wisner

Technische Universität Braunschweig
Institut für Füge- und Schweißtechnik
Langer Kamp 8
38106 Braunschweig

Telefon: 0531-391-95509

Telefax: 0531-391-95599

E-Mail: g.wisner@tu-braunschweig.de

Dipl.-Chem. Maria Brodel

Fraunhofer Institut für Holzforschung - Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI)
Bienroder Weg 54E
38108 Braunschweig

Telefon: 0531-2155-205

Telefax: 0531-2155-907

E-Mail: maria.brodel@wki.fraunhofer.de